

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства
та природокористування
Кафедра автомобільних доріг, основ і фундаментів

03-03-077М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання індивідуальної роботи та практичних занять
з навчальної дисципліни
«ПРОЕКТУВАННЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ. СПЕЦКУРС»

для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня
за освітньо-професійними програмами спеціальності 192
«Будівництво та цивільна інженерія»

денної та заочної форм навчання

Рекомендовано науково-
методичною радою з якості ННІ
будівництва та архітектури
протокол № 4
від 31.03.2020 р.

Рівне – 2020

Методичні вказівки до виконання самостійної роботи та практичних занять з навчальної дисципліни «Проектування автомобільних доріг. Спецкурс» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійними програмами спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» денної та заочної форм навчання / Фурсович М. О., Піліпака Л. М. – Рівне : НУВГП, 2020. – 24 с.

Укладачі: Фурсович М. О., к.т.н., доцент кафедри автомобільних доріг, основ і фундаментів; Піліпака Л. М., к.т.н., доцент кафедри міського будівництва та господарства.

Відповідальний за випуск: Кузло М. Т., д.т.н., професор, завідувач кафедри автомобільних доріг, основ і фундаментів.

ЗМІСТ

| | стор. |
|--|-------|
| 1. Розрахунок максимальної витрати води від зливового стоку для малих мостів і труб | 3 |
| 2. Розрахунок максимальної витрати води від сніготанення стоку для малих мостів і труб. | 8 |
| 3. Гідравлічний розрахунок отворів водоперепускних труб | 13 |
| Додаток | 24 |
| Районування території України за ґрунтово-геологічними умовами | 24 |

© Фурсович М. О.,
Піліпака Л. М., 2020

© НУВГП, 2020

1. Розрахунок максимальної витрати води від зливогого стоку для малих мостів і труб.

До малих водотечій відносять струмки та малі річки, а також суходоли, які часом перетворюються в водотечії. Такі водотечії мають площу водозбору менше 100км².

Для призначення діаметра труби, або отвору мосту необхідно визначати розрахункову кількість води (m^3), яку необхідно пропустити через водопропускну споруду за одну секунду. Для цього попередньо визначають кількість води від зливи $Q_{зл}$ та від сніготанення $Q_{сн}$. Для остаточних розрахунків при визначенні діаметра труби, або отвору мосту приймають більше з двох отриманих значень.

Максимальну витрату води (m^3/c) від зливогого потоку визначають за формулою:

$$Q_{зл} = 16,7 a_{зод} K_t F \alpha \varphi, \quad (1)$$

де: $a_{зод}$ - середня інтенсивність зливи тривалістю 1год, мм/хв. (див. табл. 1), яка залежить від зливогого району (див. рис.1);

K_t - коефіцієнт переходу від інтенсивності зливи тривалістю 1 год до розрахункової інтенсивності (див. табл. 2);

F - площа водозбору, км² (визначають по карті за горизонталями для кожної споруди);

α - коефіцієнт витрати стоку, який залежить від виду ґрунту на поверхні водозбору (див. табл. 3);

φ - коефіцієнт редукції, що враховує неповноту стоку (див. табл. 4).

Інтенсивність зливи $a_{зод}$ тривалістю 1 година, мм/хв, при різних ймовірностях перевищення повені.

Таблиця 1

| Зливовий район (рис. 1) | $a_{зод}$ при ЙП % | | | | | | | |
|---|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 10 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0,3 | 0,1 |
| 1 | 0,22 | 0,27 | 0,29 | 0,32 | 0,34 | 0,40 | 0,49 | 0,57 |
| 2 | 0,29 | 0,36 | 0,36 | 0,42 | 0,45 | 0,50 | 0,61 | 0,75 |
| 3 | 0,39 | 0,41 | 0,47 | 0,52 | 0,58 | 0,70 | 0,95 | 1,15 |
| 4 | 0,45 | 0,59 | 0,64 | 0,69 | 0,74 | 0,90 | 1,14 | 1,32 |
| 5 | 0,46 | 0,62 | 0,69 | 0,75 | 0,82 | 0,97 | 1,26 | 1,48 |
| 6 | 0,49 | 0,65 | 0,73 | 0,81 | 0,89 | 1,01 | 1,46 | 1,73 |
| 7 | 0,54 | 0,74 | 0,82 | 0,89 | 0,97 | 1,15 | 1,50 | 1,77 |
| 8 | 0,79 | 0,93 | 1,07 | 1,15 | 1,24 | 1,41 | 1,78 | 2,07 |
| 9 | 0,81 | 1,02 | 1,11 | 1,20 | 1,28 | 1,48 | 1,83 | 2,14 |
| 10 | 0,42 | 1,11 | 1,23 | 1,35 | 1,46 | 1,74 | 2,25 | 2,65 |
| До зливових районів 1,2,3,4,9,10 входять терени колишнього СРСР | | | | | | | | |

**Коефіцієнт переходу від інтенсивності зливи тривалістю 1 год.
 K_t до розрахункової інтенсивності.**

Таблиця 2

| Довжина улоговини L , км | похил поверхні, ‰ | | | | | | | |
|----------------------------------|-------------------|--------------|------|------|------|------|------|------|
| | 0,1 | 1 | 10 | 100 | 200 | 300 | 500 | 700 |
| 0,15 | 4,21 | Повний потік | | | | | | |
| 0,3 | 2,87 | | | | | | | |
| 0,5 | 1,84 | | | | | | | |
| 0,75 | 1,41 | 2,08 | 2,97 | 4,50 | 5,05 | | | |
| 1,00 | 1,16 | 1,71 | 2,53 | 3,74 | 4,18 | 4,50 | 4,90 | 5,18 |
| 1,25 | 1,00 | 1,49 | 2,20 | 3,24 | 3,60 | 3,90 | 4,23 | 4,46 |
| 1,50 | 0,88 | 1,30 | 1,93 | 2,82 | 3,15 | 3,40 | 3,70 | 3,90 |
| 1,75 | 0,80 | 1,18 | 1,75 | 2,58 | 2,84 | 3,06 | 3,33 | 3,52 |
| 2,00 | 0,73 | 1,07 | 1,59 | 2,35 | 2,64 | 2,85 | 3,09 | 3,27 |
| 2,50 | 0,63 | 0,92 | 1,37 | 2,02 | 2,26 | 2,44 | 2,65 | 2,80 |
| 3,00 | 0,56 | 0,82 | 1,21 | 1,79 | 2,00 | 2,16 | 2,34 | 2,49 |
| 3,50 | 0,50 | 0,74 | 1,10 | 1,62 | 1,81 | 1,95 | 2,12 | 2,31 |
| 4,00 | 0,46 | 0,68 | 1,00 | 1,48 | 1,65 | 1,78 | 1,94 | 2,11 |
| 4,50 | 0,42 | 0,62 | 0,93 | 1,37 | 1,53 | 1,65 | 1,78 | 1,95 |
| 5,00 | 0,40 | 0,59 | 0,86 | 1,27 | 1,42 | 1,54 | 1,67 | 1,82 |
| 6,00 | 0,35 | 0,52 | 0,76 | 1,13 | 1,26 | 1,36 | 1,48 | 1,61 |
| 6,50 | 0,33 | 0,49 | 0,73 | 1,07 | 1,20 | 1,29 | 1,40 | 1,53 |
| 7,00 | 0,32 | 0,47 | 0,69 | 1,02 | 1,14 | 1,23 | 1,33 | 1,45 |
| 8,00 | 0,29 | 0,43 | 0,63 | 0,93 | 1,04 | 1,12 | 1,22 | 1,33 |
| 9,00 | 0,27 | 0,39 | 0,58 | 0,86 | 0,96 | 1,04 | 1,13 | 1,23 |
| 10,00 | 0,25 | 0,37 | 0,54 | 0,80 | 0,90 | 0,97 | 1,05 | 1,14 |
| 11,00 | 0,23 | 0,34 | 0,51 | 0,73 | 0,84 | 0,91 | 0,98 | 1,07 |
| 12,00 | 0,22 | 0,32 | 0,48 | 0,71 | 0,79 | 0,86 | 0,93 | 0,99 |
| 13,00 | 0,21 | 0,31 | 0,46 | 0,67 | 0,75 | 0,81 | 0,88 | 0,96 |
| 14,00 | 0,20 | 0,29 | 0,43 | 0,64 | 0,72 | 0,79 | 0,84 | 0,91 |
| 15,00 | 0,19 | 0,28 | 0,41 | 0,61 | 0,68 | 0,74 | 0,80 | 0,87 |
| 20,00 | 0,16 | 0,23 | 0,34 | 0,50 | 0,56 | 0,61 | 0,66 | 0,72 |

**Коефіцієнт витрати стоку α залежно від площі басейну та виду
 ґрунту на поверхні водозбірного басейну**

Таблиця 3

| Поверхня | Площа поверхні F , км ² | | |
|--|--------------------------------------|-----------|-----------|
| | 0÷1 | 1÷10 | 10÷100 |
| Асфальт, бетон, скеля без тріщин | 1 | 1 | 1 |
| Жирна глина | 0,70÷0,95 | 0,65÷0,95 | 0,65÷0,90 |
| Суглинки, підзолисті, тундрові та болотні ґрунти | 0,60÷0,90 | 0,55÷0,80 | 0,50÷0,75 |
| Чорнозем, каштанові ґрунти, лес, карбонатні ґрунти | 0,55÷0,75 | 0,45÷0,70 | 0,35÷0,65 |
| Супіски, степові ґрунти | 0,30÷0,55 | 0,20÷0,56 | 0,20÷0,45 |
| Піщані, гравелісті, пухкі каменісті ґрунти | 0,20 | 0,15 | 0,10 |

Коефіцієнт редукції ϕ

Таблиця 4

| F, км ² | ϕ | F, км ² | ϕ | F, км ² | ϕ |
|--------------------|--------|--------------------|--------|--------------------|--------|
| 0,1 | 1,00 | 1,5 | 0,51 | 14,0 | 0,29 |
| 0,2 | 0,84 | 2,0 | 0,47 | 16,0 | 0,28 |
| 0,3 | 0,76 | 2,5 | 0,45 | 20,0 | 0,27 |
| 0,4 | 0,71 | 3,0 | 0,43 | 25,0 | 0,25 |
| 0,5 | 0,67 | 4,0 | 0,40 | 30,0 | 0,24 |
| 0,6 | 0,64 | 5,0 | 0,38 | 40,0 | 0,22 |
| 0,7 | 0,61 | 6,0 | 0,36 | 50,0 | 0,21 |
| 0,8 | 0,59 | 8,0 | 0,33 | 60,0 | 0,20 |
| 0,9 | 0,58 | 10,0 | 0,32 | 80,0 | 0,19 |
| 1,0 | 0,56 | 12,0 | 0,30 | 100,0 | 0,18 |

**Ймовірність розрахункових – найбільших повеней для
гідравлічних розрахунків мостів і труб на автодорогах**

Таблиця 5

| Споруда | Категорія доріг | ЙП, % |
|------------------------|---|-------|
| Великі і середні мости | I-III, IIп і міські вулиці та дороги | 1* |
| Те ж саме | IV, IVп, V, Ic і Icс | 2* |
| Малі мости і труби | I | 1** |
| Те ж саме | II, III, IIIп і міські вулиці та дороги | 2** |
| Те ж саме | IV, IVп, V і внутрігосподарські дороги | 3** |

* У районах з малорозвинутою мережею доріг для споруд, що мають особливо важливе народногосподарське значення, при техніко-економічному обґрунтуванні ймовірність перевищення допускається приймати 0,33 замість 1% і 1 замість 2%. ** У районах з розвинутою мережею доріг для малих мостів і труб при техніко-економічному обґрунтуванні ймовірність 2 замість 1%, 3 замість 2%, 5 замість 3%, а для труб на дорогах Ic і Icс категорій – 10%.

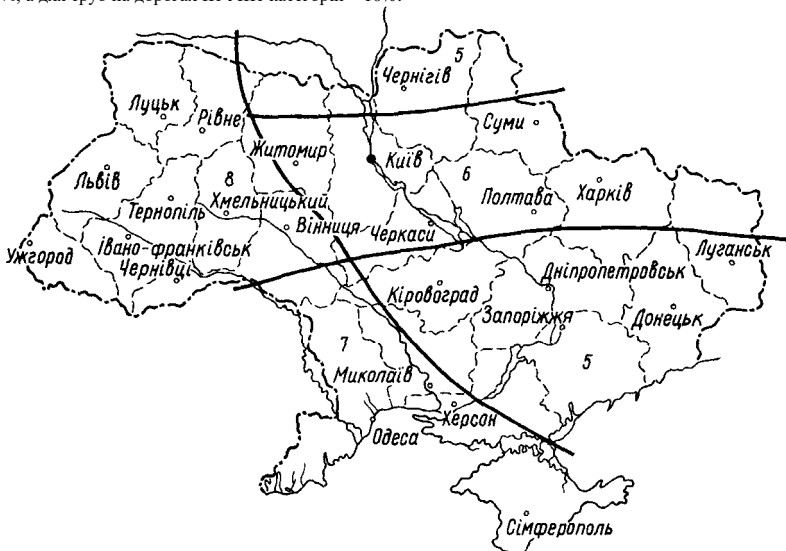


Рис. 1. Карта-схема зливових районів території України.

Приклад 1. Визначити максимальну витрату зливової води для водоперепускної труби та малого мосту, які влаштовані в районі прокладання траси (див. рис. 6). Автомобільна дорога III-ї категорії проходить в Сумській області та влаштована на суглинистих ґрунтах і проходить в районі з розвиненою мережею автомобільних доріг.

Максимальну витрату води ($\text{м}^3/\text{с}$) від зливогого потоку визначаємо за формулою (1):

$$Q_{\text{зл}} = 16,7 a_{\text{зод}} K_t F \alpha \varphi, \quad (1)$$

Знаходимо складові, які входять в цю формулу:

- *середня інтенсивність зливи тривалістю 1 год* $a_{\text{зод}} = 0,81$ мм/хв., визначено за табл. 1 (Сумська область - 6-й зливовий район, автомобільна дорога III-ї категорії, яка проходить по території з розвиненою мережею автомобільних доріг – ЙП = 3%);

- *коефіцієнт переходу від інтенсивності зливи тривалістю 1 год. до розрахункової інтенсивності*

для труби $K_t = 2,47$, визначено інтерполяцією за табл. 2 при $L_y = 1420$ м, $i_y = 50\%$;

для мосту $K_t = 2,66$, визначено інтерполяцією за табл. 2 при $L_y = 1360$ м, $i_y = 60\%$;

- *площа водозбору*

для труби $F = 0,92 \text{ км}^2$ (визначено по карті за горизонталями див. рис. 6);

для мосту $F = 0,88 \text{ км}^2$ (визначено по карті за горизонталями див. рис. 6);

- *коефіцієнт витрати стоку*, $\alpha = 0,7$ (визначено за табл. 3);

- *коефіцієнт редукції*, що враховує неповноту стоку $\varphi = 0,58$ (визначено за табл. 4 при $F = 0,92 \text{ км}^2$ і $F = 0,88 \text{ км}^2$).

Отже, максимальна витрата води ($\text{м}^3/\text{с}$) від зливогого потоку становитиме:

для труби

$$Q_{\text{зл}} = 16,7 \cdot 0,81 \cdot 2,47 \cdot 0,92 \cdot 0,7 \cdot 0,58 = 12,48;$$

для мосту

$$Q_{\text{зл}} = 16,7 \cdot 0,81 \cdot 2,66 \cdot 0,88 \cdot 0,7 \cdot 0,58 = 12,86.$$

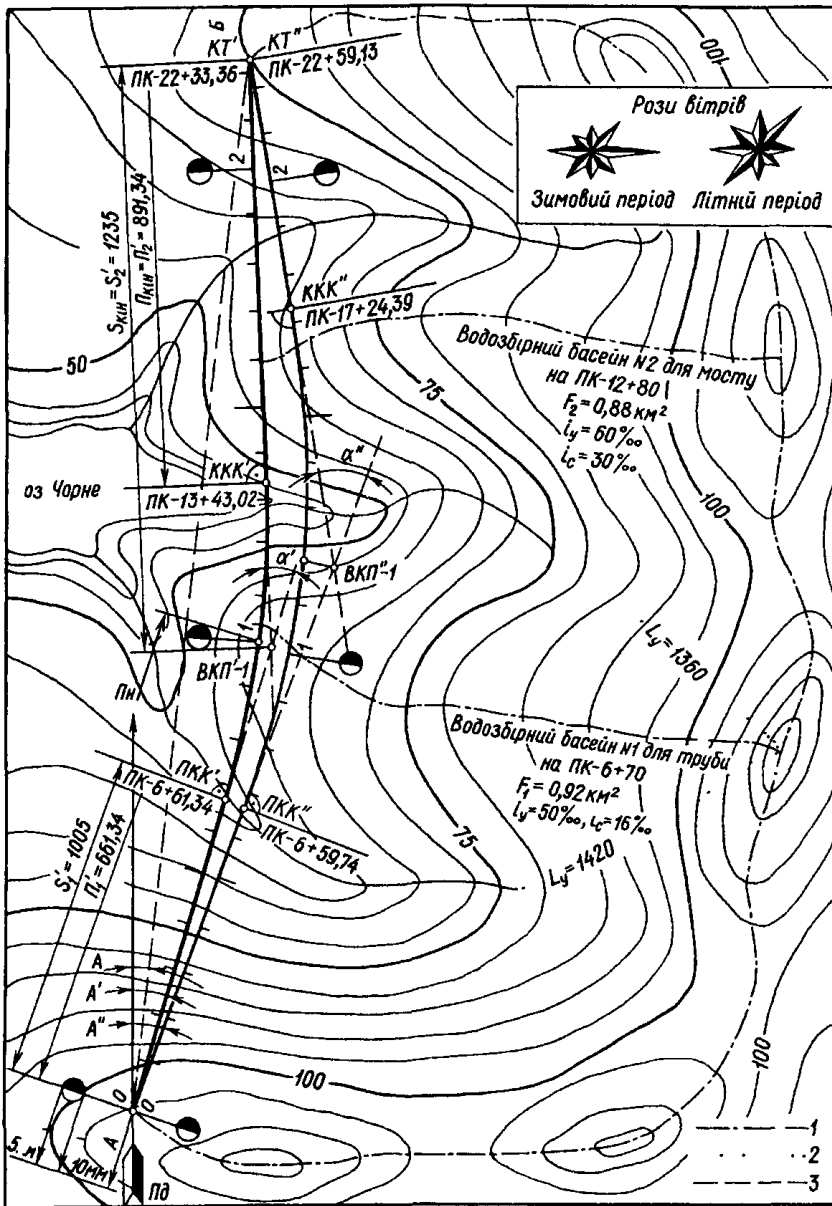


Рис. 6. План траси.

1 – межа водозбірних басейнів; 2 – лінія водозливу (улоговини з переходом у русло); 3- повітряна лінія; 0,1,2 – покажчики кілометрів.

2. Розрахунок максимальної витрати води від сніготанення стоку для малих мостів і труб.

Максимальну витрату води (m^3/c) від сніготанення визначають за формулою

$$Q_{сн} = \frac{K_0 h_{роз} F}{(F + 1)^n} \delta_1 \delta_2, \quad (2)$$

де: K_0 - коефіцієнт дружності повені;

n - показник ступеня, який залежить від дорожньо-кліматичної зони (див. рис.2). $K_0=0,01$, $n=0,17$ - для зони У-I; $K_0=0,02$, $n=0,25$ - для зон У-II і У-III; $K_0=0,0045$, $n=0,15$ - для зони У-IV.



Рис. 2. Карта-схема дорожньо-кліматичних зон України.

1 – границя дорожньо-кліматичних зон; 2 – державні кордони; 3- границі областей.

F - площа водозбору, $км^2$ (визначають по карті за горизонталями для кожної споруди);

$h_{роз}$ - глибина розрахункового шару сумарного стоку, (мм), яка визначається за формулою

$$h_{роз} = \bar{h} K_p, \quad (3)$$

де \bar{h} - середній багаторічний шар стоку від сніготанення, мм (див. рис. 3).

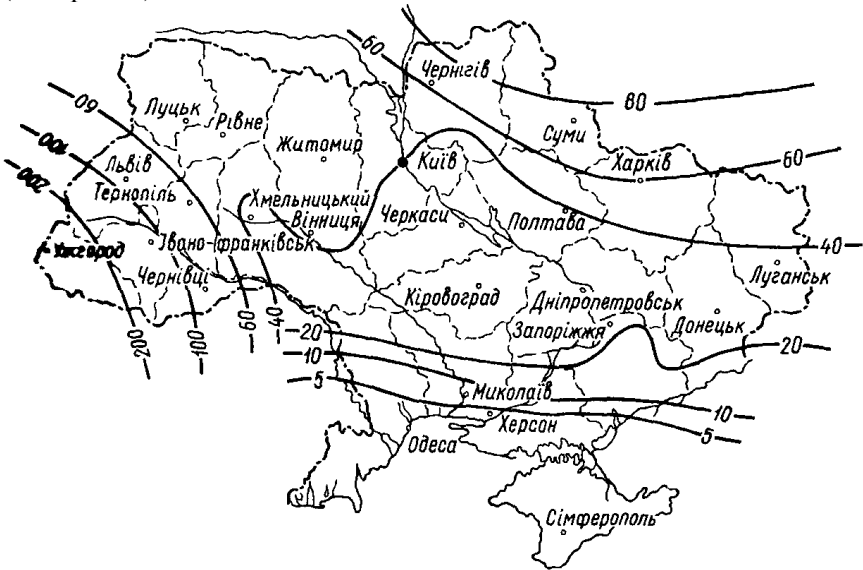


Рис. 3. Карта-схема середньобагаторічного шару стоку води від сніготанення на території України.

Якщо $F < 100 \text{ км}^2$, при глинистих та суглинистих ґрунтах h збільшується в 1,1 рази, а при супіщаних та піщаних зменшується на 0,9.

K_p – модульний коефіцієнт при гама-параметричному законі розподілу (див. рис.5), який залежить від коефіцієнта варіації шару стоку повені C_{vh} (див. рис.4), коефіцієнта асиметрії C_{sh} та ймовірності перевищення повені ЙП. При площах водозбору до 50 км^2 коефіцієнт C_{vh} збільшується в 1,25 рази.

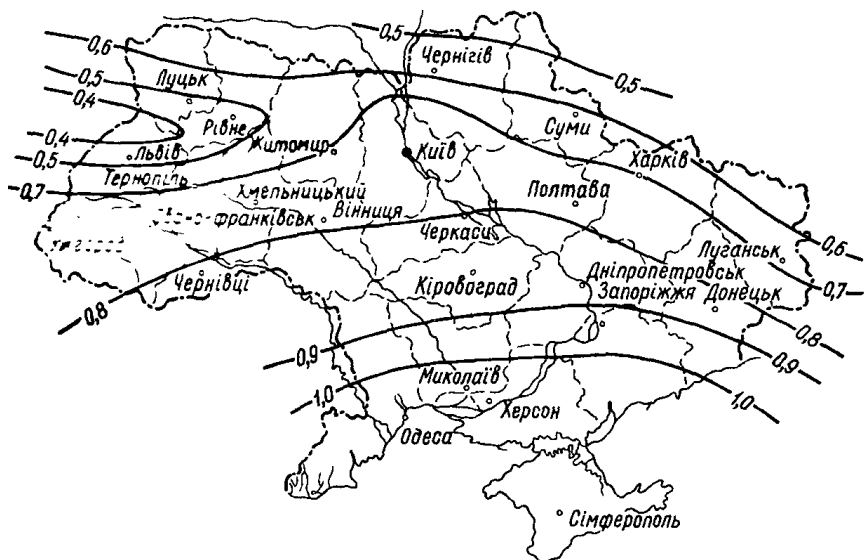


Рис. 4. Карта-схема коефіцієнта варіації шару стоку при сніготаненні на території України.

Коефіцієнт асиметрії приймається для рівнинних водозборів $C_{sh}=2C_{vh}$, для гірських - $C_{sh}=3C_{vh}$ (див. рис.5).

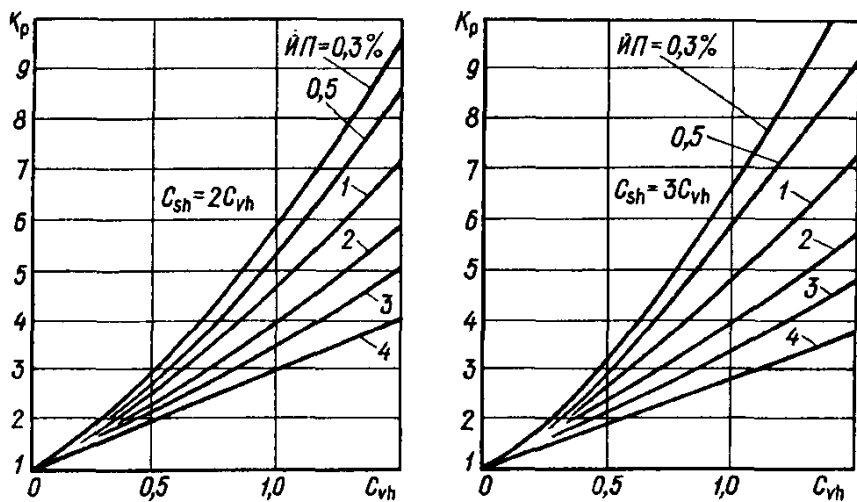


Рис. 5. Модульні коефіцієнти K_p при гама-параметричному законі розподілу.

δ_1 - коефіцієнт, що враховує зменшення витрат, при наявності в межах басейну водозбору озер, які займають більше 2% від його площі: $2 \div 5\%$ - $\delta_1=0,9$; $5 \div 10\%$ - $\delta_1=0,8$; $10 \div 15\%$ - $\delta_1=0,75$; 15% - $\delta_1=0,7$.

δ_2 - коефіцієнт, що враховує зменшення витрат, при наявності в басейні лісів та боліт (див. табл. 6).

Коефіцієнт δ_2

Таблиця 6

| $\beta = 5F_n / F + 10F_6 / F + 1$ (цілі числа) | β (десяті частинки) | | | | |
|--|---------------------------|------|------|------|------|
| | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 |
| 1 | 1,00 | 0,94 | 0,88 | 0,84 | 0,80 |
| 2 | 0,76 | 0,73 | 0,70 | 0,67 | 0,64 |
| 3 | 0,62 | 0,60 | 0,58 | 0,56 | 0,54 |
| 4 | 0,52 | 0,50 | 0,48 | 0,47 | 0,46 |
| 5 | 0,44 | 0,43 | 0,42 | 0,40 | 0,39 |
| 6 | 0,38 | 0,37 | 0,36 | 0,34 | 0,33 |
| 7 | 0,32 | 0,31 | 0,30 | 0,30 | 0,29 |

F_n, F_6 – відповідно площі покриті лісами та болотами

Приклад 2. Визначити максимальну витрату від води сніготанення для водоперепускної труби та малого мосту, які влаштовані в районі прокладання траси (див. рис. 6). Автомобільна дорога III-ї категорії проходить в Сумській області та влаштована на суглинистих ґрунтах і проходить в районі з розвинутою мережею автомобільних доріг.

Максимальну витрату води (m^3/c) від сніготанення визначаємо за формулою (2):

$$Q_{сн} = \frac{K_0 h_{роз} F}{(F + 1)^n} \delta_1 \delta_2.$$

Знаходимо складові, які входять в цю формулу:

- коефіцієнт дружності повені $K_0=0,02$ (Сумська область – У-II дорожньо-кліматична зона, див. рис.2);

- показник ступеня $n=0,25$ (Сумська область – У-II дорожньо-кліматична зона, див. рис.2);

- площа водозбору

для труби $F=0,92 \text{ км}^2$ (визначено по карті за горизонталями див. рис. 6);

для мосту $F=0,88 \text{ км}^2$ (визначено по карті за горизонталями див. рис. 6);

- глибину розрахункового шару сумарного стоку визначаємо за

формулою (3)

$$h_{роз} = \bar{h} K_p.$$

Знаходимо складові, які входять в цю формулу:

- *середній багаторічний шар стоку від сніготанення* $\bar{h}=80$ мм (визначено по карті для Сумської області - див. рис. 3). Величину h збільшується в 1,1 рази – площа водозбору менше 100км^2 і водозбір розташований на суглинистих ґрунтах. Отже, $\bar{h}=80\cdot 1,1=88\text{мм}$.

- *коефіцієнта варіації шару стоку* повені $C_{vh}=0,6$ (визначено по карті для Сумської області - див. рис. 4). Величину C_{vh} збільшуємо в 1,25 рази (площа водозбору менше 50км^2). Отже, $C_{vh}=0,6\cdot 1,25=0,75$.

При $C_{vh}=0,75$, ЙП 3% для рівнинного водозбору модульний коефіцієнт при гама-параметричному законі розподілу становитиме $K_p=2,7$ (див. рис.5), а глибина розрахункового шару сумарного стоку – $h_{роз}=88\cdot 2,7=237,6\text{мм}$.

- *коефіцієнт, що враховує зменшення витрат, при наявності в межах площі водозбору озер, які займають більше 2% від його площі* $\delta_1=1$ (на поверхні басейну водозбору немає озер, які займають більше 2% від його площі).

- *коефіцієнт, що враховує зменшення витрат, при наявності в басейні лісів та боліт* $\delta_2=1$ (на поверхні басейну водозбору немає лісів та боліт).

Отже, максимальна витрата води ($\text{м}^3/\text{с}$) від сніготанення становитиме:

для труби

$$Q_{сн} = \frac{K_0 h_{роз} F}{(F+1)^n} \delta_1 \delta_2 = \frac{0,02 \cdot 237,6 \cdot 0,92}{(0,92+1)^{0,25}} 1 \cdot 1 = 3,71;$$

для мосту

$$Q_{сн} = \frac{K_0 h_{роз} F}{(F+1)^n} \delta_1 \delta_2 = \frac{0,02 \cdot 237,6 \cdot 0,92}{(0,88+1)^{0,25}} 1 \cdot 1 = 3,57.$$

Оскільки максимальні витрати зливової води більші, ніж витрати від сніготанення, то для остаточних розрахунків при визначенні діаметра труби та отвору мосту приймаємо більше з двох отриманих значень: для труби $Q_{роз}=Q_{зл}=12,48\text{м}^3/\text{с}$; для мосту $Q_{роз}=Q_{зл}=12,86\text{м}^3/\text{с}$.

3. Гідравлічний розрахунок отворів водоперепускних труб.

Режим протікання води через штучні споруди (рис.6) може бути:

- *безнапірним*, коли $H \leq 1,2h_{\text{тр}}$ і по всій довжині труби є вільна поверхня;
- *напівнонапірним*, коли $1,2h_{\text{тр}} < H \leq 1,4h_{\text{тр}}$ і тільки на вхідній ділянці є цілий переріз, заповнений водою, а на більшій частині труби є вільна поверхня;
- *напірним*, коли $H > 1,4h_{\text{тр}}$ і тільки на невеличкій ділянці при виході є вільна поверхня, а на більшій частині цілий переріз заповнений водою.

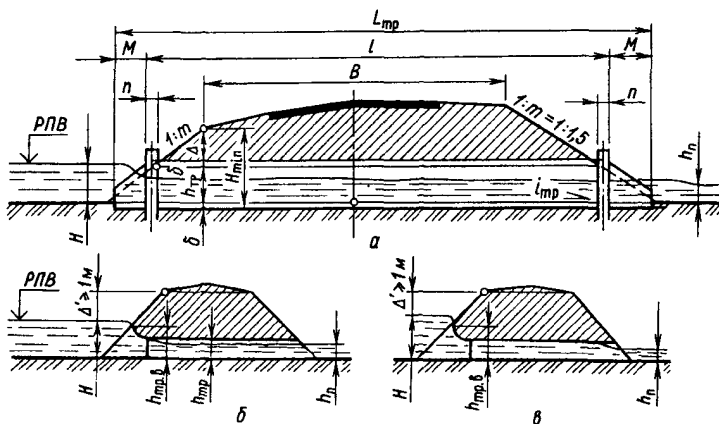


Рис. 6. Схеми протікання води в трубі

Режим протікання води через штучні споруди на місцевих шляхах приймають, як правило, безнапірним, при цьому не затоплюється територія на виході води з труби та зменшуються обсяги земляних робіт.

У гірській та горбистій місцевості, а також при наявності ярів можна влаштовувати труби в напівнонапірному та напірному режимі, але при цьому потрібно запобігати можливій фільтрації води через насип та видопроникнення через шви між кільцями труб, влаштовувати надійний фундамент під трубою та забезпечувати стійкість насипу від натиску води перед трубою.

Діаметр труби та їх кількість визначають використовуючи таблиці гідравлічних характеристик труб (див. табл. 7 та 8).

Гідравлічні характеристики типових круглих труб

Таблиця 7

| Діаметр отвору, м | Витрата, м ³ /с | Глибина води перед трубою, м | Швидкість на виході з труби, м/сек |
|---|-------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| <i>Безнапірний режим</i> | | | |
| Портальний оголовок | | | |
| 0,75 | 0,20 | 0,41 | 0,40 |
| | 0,40 | 0,62 | 0,70 |
| | 0,60 | 0,79 | 2,00 |
| | 0,74 | 0,90 | 2,20 |
| Раструбний оголовок з нормальною вхідною ланкою | | | |
| 1,00 | 0,60 | 0,68 | 2,10 |
| | 0,80 | 0,81 | 2,30 |
| | 1,00 | 0,93 | 2,40 |
| | 1,20 | 1,05 | 2,60 |
| Раструбний оголовок з конічною вхідною ланкою | | | |
| 1,00 | 0,80 | 0,57 | 1,40 |
| | 1,00 | 0,84 | 2,40 |
| | 1,40 | 1,03 | 2,70 |
| | 1,65 | 1,14 | 2,90 |
| | 2,00 | 1,31 | 3,30 |
| | 2,20 | 1,39 | 3,40 |
| 1,25 | 1,00 | 0,77 | 2,20 |
| | 1,50 | 0,95 | 2,50 |
| | 2,00 | 1,13 | 2,70 |
| | 2,50 | 1,29 | 3,00 |
| 1,5 | 2,70 | 1,37 | 3,20 |
| | 3,00 | 1,46 | 3,30 |
| | 3,50 | 1,61 | 3,50 |
| | 3,00 | 1,74 | 3,80 |
| | 4,20 | 1,93 | 3,80 |
| | 4,50 | 2,10 | 3,90 |
| 1,75 | 2,50 | 1,19 | 2,90 |
| | 2,80 | 1,27 | 3,00 |
| | 3,00 | 1,32 | 3,00 |
| | 3,50 | 1,45 | 3,20 |
| | 3,90 | 1,54 | 3,30 |
| | 4,25 | 1,63 | 3,50 |
| | 4,70 | 1,75 | 3,70 |
| | 5,00 | 1,81 | 3,70 |
| | 6,00 | 2,08 | 4,1 |
| 2,00 | 4,50 | 1,47 | 3,20 |
| | 5,00 | 1,55 | 3,30 |
| | 5,50 | 1,65 | 3,40 |
| | 6,00 | 1,73 | 3,50 |
| | 6,50 | 1,81 | 3,60 |
| | 7,00 | 1,90 | 3,70 |
| | 7,50 | 1,98 | 3,80 |
| | 8,00 | 2,06 | 3,90 |

| | | | |
|---|-------------|-------------|-------------|
| | 8,50 | 2,14 | 4,00 |
| | 9,00 | 2,22 | 4,10 |
| | 9,50 | 2,31 | 4,20 |
| | 10,00 | 2,38 | 4,30 |
| | 10,50 | 2,46 | 4,40 |
| | 11,00 | 2,54 | 4,50 |
| | 12,50 | 2,78 | 4,80 |
| <i>Напівнапірний режим</i> | | | |
| 1,00 | 1,60 | 1,30 | 3,30 |
| | 2,00 | 1,80 | 4,10 |
| | 2,40 | 2,34 | 4,90 |
| | 2,80 | 2,95 | 5,70 |
| | 3,00 | 3,16 | 6,00 |
| <i>Напірний режим</i> | | | |
| Раструбний оголовок з нормальною вхідною ланкою | | | |
| 1,00 | 3,00 | 1,66 | 4,20 |
| | 3,50 | 2,02 | 5,00 |
| 1,25 | 5,00 | 1,96 | 4,50 |
| | 6,00 | 2,46 | 5,40 |
| 1,50 | 7,00 | 2,24 | 4,40 |
| | 8,00 | 2,40 | 5,00 |
| | 8,50 | 2,58 | 5,30 |
| Конусність вхідного кільця збільшує висоту труби на: 0,2м при d=1,0м; 0,25м при d=1,25м; 0,3м при d=1,5м; 0,4 м при d=2,0м. | | | |

Гідравлічні характеристики типових прямокутних труб

Таблиця 8

| Витрата, м ³ /с | | | | Глибина води перед трубою, м | Швидкість на виході з труби, м/сек |
|----------------------------|-------|-------|-------|---------------------------------|---------------------------------------|
| 2х2 | 2,5х2 | 3х2,5 | 4х2,5 | | |
| 1 | 1,25 | 1,50 | 2,00 | 0,45 | 1,80 |
| 2 | 2,50 | 3,00 | 4,00 | 0,71 | 2,30 |
| 3 | 3,75 | 4,50 | 6,00 | 0,94 | 2,70 |
| 4 | 5,00 | 6,00 | 8,00 | 1,13 | 2,90 |
| 5 | 6,25 | 7,50 | 10,00 | 1,32 | 3,20 |
| 6 | 7,50 | 9,00 | 12,00 | 1,48 | 3,40 |
| 7 | 8,75 | 10,50 | 14,00 | 1,66 | 3,50 |
| 8 | 10,00 | 12,00 | 16,00 | 1,82 | 3,90 |
| 9 | 11,25 | 13,50 | 18,00 | 1,97 | 4,10 |
| 10 | 12,50 | 15,00 | 20,00 | 2,11 | 4,20 |
| 11 | 13,75 | 16,50 | 22,00 | 2,27 | 4,40 |
| 12 | 15,75 | 18,90 | 25,20 | 2,49 | 4,60 |
| 14 | 17,50 | 21,00 | 28,00 | 2,65 | 4,70 |
| 15 | 18,75 | 22,50 | 30,00 | 2,77 | 4,80 |

Водоперепускні труби проектують у такій послідовності: встановлюють розрахункові витрати води; приймають отвір типової труби та кількість труб; визначають мінімальну висоту насипу біля труби; визначають довжину труби при фактичній висоті насипу.

Мінімальна висота насипу біля труби, при безнапірному режимі

її роботи визначається за формулою

$$H_{\min} = d + \delta + \Delta, \quad (4)$$

де: d - діаметр труби;

δ - товщина стінок труби (див. табл. 9 та 10);

Δ - мінімальна товщина шару ґрунту над трубою (при безнапірному режимі $\Delta=0,5$ м).

Мінімальна висота насипу біля труби, при напівнапірному та напірному режимі її роботи визначається за формулою

$$H_{\min} = H + \Delta', \quad (5)$$

де: H – глибина води перед трубою (див. рис. 6, табл. 7 та 8);

Δ' - мінімальне підвищення брівки земляного полотна над рівнем поверхні води перед трубою (при напівнапірному та напірному режимі $\Delta'=1,0$ м).

Геометричні розміри круглих труб

Таблиця 9

| Отвір d , м | Вхідна ланка | | Довжина оголовка M , м | Висота насипу $H_{\text{нас}}$, м | Товщина стінки δ , м |
|---------------|----------------------------|-----------------------------|--------------------------|------------------------------------|-----------------------------|
| | Висота $h_{\text{вх}}$, м | Довжина $l_{\text{вх}}$, м | | | |
| 1,00 | 1,20 | 1,32 | 1,78 | до 4,0 | 0,10 |
| | | | | 4,1÷7,0 | 0,12 |
| 1,25 | 1,50 | 1,32 | 2,26 | до 4,0 | 0,12 |
| | | | | 4,1÷8,0 | 0,14 |
| | | | | 8,1÷20,0 | 0,18 |
| 1,50 | 1,80 | 1,32 | 2,74 | до 4,5 | 0,14 |
| | | | | 4,6÷9,0 | 0,16 |
| | | | | 9,1÷2,0 | 0,22 |
| 1,75 | 2,10 | 1,32 | 3,20 | до 4,5 | 0,14 |
| | | | | 4,6÷9,0 | 0,16 |
| | | | | 9,1÷2,0 | 0,22 |
| 2,00 | 2,40 | 1,32 | 3,66 | до 5,0 | 0,16 |
| | | | | 5,1÷9,0 | 0,20 |
| | | | | 9,1÷2,0 | 0,24 |

Для труб з нормальним вхідним кільцем (ланкою) його висотана вході дорівнює отвору труби, а довжина рівна 1,0м. Довжина решти ланок дорівнює 1,0м.

Геометричні розміри прямокутних труб

Таблиця 10

| Отвір $b \times h$, м | Вхідна ланка | | Довжина оголовка M/M_I , м | Висота насипу $H_{\text{нас}}$, м | Товщина плити перекриття δ , м |
|------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|
| | Висота $h_{\text{вх}}$, м | Довжина $l_{\text{вх}}$, м | | | |
| 2,0x2,0 | 2,0/2,5 | 3,02 | 3,2/3,95 | до 8,0 | 0,22 |
| | | | | 8,1÷2,0 | 0,37 |
| 2,0x3,0 | 3,0/3,5 | 3,02 | 4,7/5,45 | до 8,0 | 0,22 |
| | | | | 8,1÷2,0 | 0,37 |
| 4,0x3,0 | 3,0/3,5 | 3,02 | 4,7/5,45 | до 8,0 | 0,36 |
| | | | | 8,1÷2,0 | 0,57 |

В чисельнику наведено значення, що відповідають нормальній вхідній ланці, у знаменнику –

підвищені. Довжина решти секцій труби дорівнює 4,0м.

Приклад 3. Визначити отвір водоперепускної труби при $Q_{роз}=Q_{эл}=12,48\text{м}^3/\text{с}$ за безнапірного та напірного режиму її роботи.

Безнапірний режим роботи труби. Для безнапірного режиму беремо трубу діаметром $d=1,5$ з витратою води $Q=4,2\text{м}^3/\text{с}$ (див. табл. 7). Для забезпечення проходження через трубу розрахункової витрати $Q_{роз}=12,48\text{м}^3/\text{с}$ приймаємо три такі труби.

При цьому: фактична витрата становитиме $Q=3\cdot 4,2=12,6\text{м}^3/\text{с}$; глибина води перед трубою $H=1,93\text{м}$; швидкість води на виході з труб $v=3,8\text{м}/\text{с}$.

Перевіряємо, чи забезпечується за таких умов безнапірний режим роботи труби (*безнапірним є режим роботи труби, коли $H\leq 1,2h_{тр}$ і по всій довжині труби є вільна поверхня*): $H=1,93\text{м}<1,2h_{тр}=1,2\cdot 1,8=2,16\text{м}$ – умова виконується (при розрахунках $h_{тр}=1,8$ – врахована конусність вхідного кільця, яка збільшує висоту труби $d=1,5\text{м}$ на $0,3\text{м}$ - див. примітка до таблиці 7).

Отже, безнапірний режим проходження розрахункової витрати води $Q_{роз}=12,48\text{м}^3/\text{с}$ при влаштуванні трьох труб діаметром $d=1,5$ забезпечується.

Мінімальну висоту насипу біля труби, при безнапірному режимі її роботи визначаємо за формулою (4)

$$H_{\min} = d + \delta + \Delta .$$

Знаходимо складові, які входять в цю формулу:

- діаметр труби $d=1,5\text{м}$;
- товщина стінки труби $\delta=0,14\text{м}$ (див. табл. 9 - при висоті насипу до $4,5\text{м}$);
- мінімальна товщина шару ґрунту над трубою $\Delta=0,5\text{м}$.

Отже, мінімальна висота насипу ($м$) біля труби становитиме:

$$H_{\min} = d + \delta + \Delta = 1,5 + 2\cdot 0,14 + 0,5 = 2,28 .$$

Напірний режим роботи труби. Для напірного режиму беремо трубу діаметром $d=1,25$ з витратою води $Q=6,0\text{м}^3/\text{с}$ (див. табл. 7). Для забезпечення проходження через трубу розрахункової витрати $Q_{роз}=12,48\text{м}^3/\text{с}$ приймаємо дві такі труби.

При цьому: фактична витрата становитиме $Q=2\cdot 6,0=12,0\text{м}^3/\text{с}$; глибина води перед трубою $H=2,46\text{м}$; швидкість води на виході з труб $v=5,4\text{м}/\text{с}$.

Перевіряємо, чи забезпечується за таких умов напірний режим роботи труби (*напірним є режим роботи труби коли $H>1,4h_{тр}$ і*

тільки на невеличкій ділянці при виході є вільна поверхня, а на більшій частині цілий переріз заповнений водою): $H=2,46\text{м} < 1,4h_{\text{тр}}=1,4 \cdot 1,5=2,1\text{м}$ – умова виконується (при розрахунках $h_{\text{тр}}=1,5$ – врахована конусність вхідного кільця, яка збільшує висоту труби $d=1,25\text{м}$ на $0,25\text{м}$ - див. примітка до таблиці 7).

Отже, напірний режим проходження розрахункової витрати води $Q_{\text{роз}}=12,48\text{м}^3/\text{с}$ при влаштуванні двох труб діаметром $d=1,25$ забезпечується.

Мінімальну висоту насипу біля труби, при напірному режимі її роботи визначаємо за формулою (5)

$$H_{\min} = H + \Delta'.$$

Знаходимо складові, які входять в цю формулу:

- глибина води перед трубою $H=2,46\text{м}$;

- мінімальне підвищення брівки земляного полотна над рівнем поверхні води перед трубою $\Delta'=1,0\text{м}$.

Отже, мінімальна висота насипу (m) біля труби становитиме:

$$H_{\min} = H + \Delta' = 2,46 + 1,0 = 3,46.$$

Довжина труби залежить від висоти насипу біля труби. Довжина труби визначається лише після проектування поперечного профілю. При $H_{\text{нас}} \leq 6,0\text{м}$ довжину труби без оголовків визначають за формулою:

$$l = \left[\frac{0,5B + m(H_{\text{нас}} - h_{\text{тр}})}{1 + m \cdot i_{\text{тр}}} + \frac{0,5B + m(H_{\text{нас}} - h_{\text{тр}})}{1 - m \cdot i_{\text{тр}}} + n \right] \frac{1}{\sin \alpha}, \quad (6)$$

де B – ширина земляного полотна, m ;

m - коефіцієнт закладання укосу земляного полотна (зазвичай приймають $m=1,5$);

$i_{\text{тр}}$ – ухил труби, ‰ (приймають рівним ухилу улоговини біля труби);

$H_{\text{нас}}$ - висота насипу;

$h_{\text{тр}}$ – діаметр труби, m ;

n – товщина стінки оголовка ($n = 0,35\text{м}$);

α - кут між віссю дороги та труби.

При $H_{\text{нас}} > 6,0\text{м}$ довжину труби без оголовків визначають за

формулою:

$$l = \left[\frac{0,5B - 1,5 + 1,75(H_{нас} - h_{mp})}{1 + 1,75 \cdot i_{mp}} + \frac{0,5B - 1,5 + 1,75(H_{нас} - h_{mp})}{1 - 1,75 \cdot i_{mp}} + n \right] \frac{1}{\sin \alpha}, \quad (7)$$

Повна довжина труби буде дорівнювати: $L_{mp} = l + 2M$ (M - довжина оголовків).

Конструкції ланок круглих залізобетонних труб і їх фундаментів наведено на рис. 7 та 8.

При розтіканні потоку за трубою зростає швидкість води приблизно в 1,5 рази, що спричиняє розмив русла. Тому укріплення русла за трубою є обов'язковим – влаштовуються запобіжні укуси та кам'яний накид (див. рис. 9). Конструкція та розміри вхідного і вихідного оголовків приймають за типовим проектом № 501-0-46 "Укрепление русел и откосов насыпей у водопропускных труб" (витяг з цього проекту – див. табл. 11 та 12).

У поздовжньому напрямку труба повинна мати похил, який приймається за гідравлічним розрахунком, але не менше ніж $i_{тр} \geq 5\text{‰}$. Трубам також надається будівельний підйом (компенсується осідання насипу висотою H і фундаменту труби): для гравію, гальки, пісків (окрім пилюватого) – $H/80$; для супісків, суглинків та глин – $H/40$.

Щоб уникнути застою води перед трубою, будівельний підйом беруть таким чином, щоб позначка вхідного лотка була вищою від найвищої точки підйому.

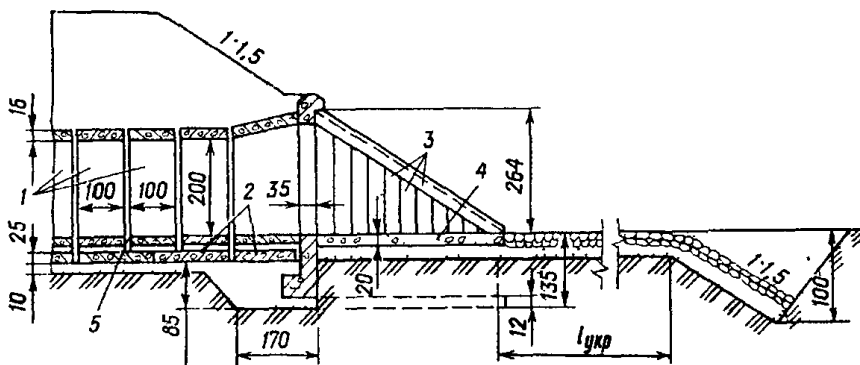


Рис. 7. Кругла залізобетонна труба (розміри в см).

1 – ланки; 2 – блоки фундаментів; 3 – блоки відкритків оголовка; 4 – монолітний бетон; 5 – стик ланок.

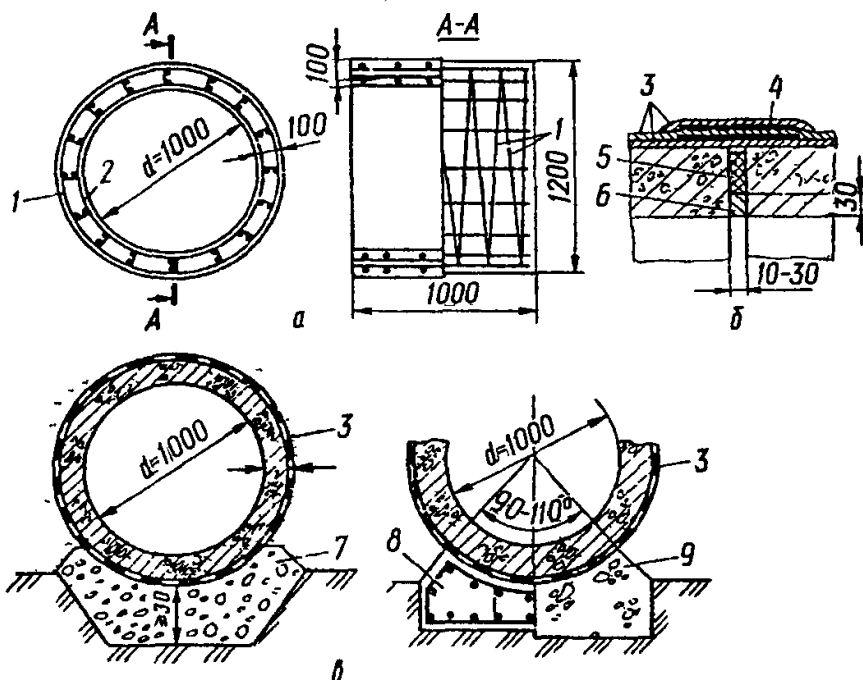


Рис. 8. Конструкція ланок круглих залізобетонних труб.

1 – зовнішня спіраль; 2 – внутрішня спіраль; 3 – шар бітумної мастики; 4 – бітумізована тканина; 5 – клоччя, просочене бітумом; 6 – цементний розчин; 7 – гравійна подушка; 8 – залізобетонний фундамент; 9 – монолітний бетонний фундамент.

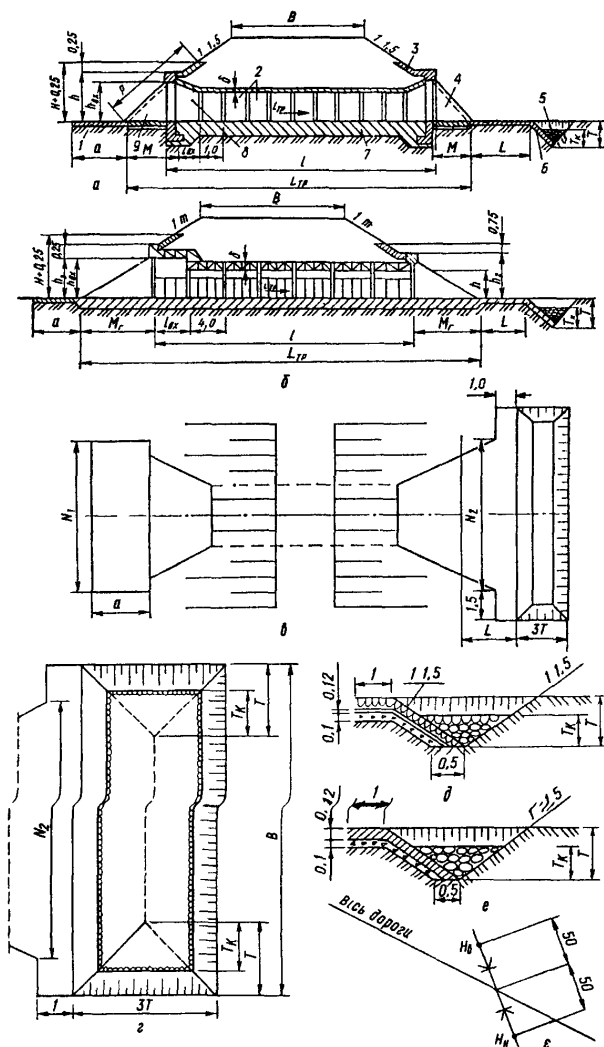


Рис. 9. Укріплення русел і укосів біля водоперепускних труб
(розміри в м).

a – поздовжній розріз круглої труби; *б* – поздовжній розріз прямокутної труби; *в* – план укріплення біля вхідного і вихідного оголовків; *г* – план кінцевої ділянки укріплення русла; *д* – укріплення брівкою на цементному розчині; *е* – укріплення монолітним бетоном; *ж* – схема для визначення похилу труби.
1 – укріплення русла; 2 – проміжні ланки труби; 3 – укріплення укосів; 4 – вихідний оголовок; 5 – кам'яний накид; 6 – запобіжний укіс; 7 – фундамент; 8 – вхідна ланка; 9 – вихідний оголовок.

Геометричні характеристики укріплення біля круглих труб

Таблиця 11

| Отвір d , м | Витрати на одну трубу Q , м ³ /с | Вхідний оголовок a , м | Вихідний оголовок L , м | Вхідний оголовок N_1 , м | Вихідний оголовок N_2 , м | Глибина ковша розмиву T , м | Висота кам'яної накидки ковша розмиву T_k , м | $h+0,25$ | Довжина укріплення укосу P , м |
|------------------|--|--------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|--|--|----------|--|
| 1,0 | до 3,5 | 2,0 | 2,0 | 6,6 | 7,2 | 1,0 | 0,5 | 1,96 | 3,5 |
| 2х1,0 | | | 2,8 | 8,0 | 10,5 | | | | |
| 3х1,0 | | | 3,4 | 9,5 | 14,0 | | | | |
| 1,25 | до 6,0 | 2,5 | 2,0 | 7,4 | 7,9 | 1,1 | 0,75 | 2,28 | 4,1 |
| 2х1,25 | | | 2,8 | 9,2 | 11,5 | | | | |
| 3х1,25 | | | 3,4 | 10,9 | 15,0 | | | | |
| 1,5 | до 3,9 4,0÷8,5 | 3,0 | 2,0 | 8,0 | 8,5 | 1,0 1,1÷1,3 | 0,50 0,55÷0,75 | 2,60 | 4,7 |
| | | | 3,0 | | 8,7 | | | | |
| 2х1,5 | | | 2,8 | 10,1 | 12,4 | | | | |
| | | | 4,2 | | 12,9 | | | | |
| 3х1,5 | | | 3,4 | 12,2 | 16,3 | | | | |
| | | | 5,1 | | 17,1 | | | | |
| 2,0 | до 3,9 4,0÷16,5 | 3,5 | 2,0 | 9,3 | 9,9 | 1,0 1,0÷1,6 | 0,50 0,6÷1,1 | 3,21 | 5,8 |
| | | | 3,0 | | 10,5 | | | | |
| 2х2,0 | | | 2,8 | 12,0 | 14,8 | | | | |
| | | | 4,2 | | 15,5 | | | | |
| 3х2,00 | | | 3,4 | 14,9 | 19,3 | | | | |
| | | | 5,1 | | 20,7 | | | | |

Матеріал укріплення – монолітний бетон, бетонні плити (товщиною 12 см на шарі щебеню 10 см), бруківка висотою 16 см на цементному розчині 2 см і щебені 10 см. Висоту укріплення укосу насипів біля вхідного оголовка приймають рівною $H+0,25$ м, але не менше ніж $h+0,25$ м. Біля вихідного оголовка насип укріплюють на висоту $h+0,25$ м. У чисельнику наведено глибину ковша розмиву T та висоту кам'яної кладки T_k при меншій довжині L і ширині укріплення N_2 біля вихідного оголовка, у знаменнику – при більших величинах. При косого рості $\geq 30\%$ і ґрунтах з малою допустимою швидкістю розмиву $v_{don} \leq 1$ м/с при глибині потоку 1 м влаштовують бистроток.

Геометричні характеристики укріплення біля прямокутних труб

Таблиця 12

| Отвір <i>b</i> х <i>h</i> , м | Витрати на одну трубу <i>Q</i> , м ³ /с | Вхідний оголовок <i>a</i> , м | Вихідний оголовок <i>L</i> , м | Вхідний оголовок <i>N</i> ₁ , м | Вихідний оголовок <i>N</i> ₂ , м | Глибина ковша розмиву <i>T</i> , м | Висота кам'яної накидки ковша розмиву <i>T</i> _{кз} , м | <i>h</i> +0,25 | Довжи- на укрі- плення укосу <i>P</i> , м | |
|----------------------------------|---|-------------------------------------|--------------------------------------|--|---|---|---|----------------|---|------|
| 1,5х2,0 | до 11,3 | 3,5 | 3,0÷5,0 | 8,6 | 8,6÷9,3 | 1,0÷1,6 | 0,7÷1,2 | 3,41 | 6,1 | |
| 2х1,5х2,0 | | | 4,2÷7,0 | 10,3 | 12,9÷14,2 | 1,3÷2,1 | 0,7÷1,2 | 3,41 | 6,1 | |
| 2,0х2,0 | | | до 15,0 | | 5,0 | 8,9 | 10,5÷10,6 | 1,4÷1,8 | 0,95÷1,3 | 3,43 |
| 2х2,0х2,0 | 7,0 | | | | 11,1 | 16,7 | 1,7÷2,3 | 0,95÷1,3 | 3,43 | 6,2 |
| 3,0х2,0 | до 22,5 | | 5,0÷7,0 | 9,5 | 12,5÷13,4 | 1,4÷1,8 | 0,95÷1,3 | 3,52 | 6,3 | |
| 2х3,0х2,0 | | | 5,0 | 7,0÷9,8 | 13,0 | 20,8÷22,9 | 1,6÷2,3 | 0,95÷1,3 | 3,52 | 6,1 |
| 2,0х3,0 | до 23,0 | 3,5 | 7,0 | 10,0 | 11,8 | 1,8÷2,1 | 1,25÷1,6 | 4,43 | 8,0 | |
| 2х2,0х3,0 | | | 9,8 | 12,5 | 18,3 | 2,3÷2,6 | 1,25÷1,6 | 4,43 | 8,0 | |
| 3,0х3,0 | до 35,4 | | 7,0 | 11,0 | 14,1 | 1,7÷2,3 | 1,20÷1,7 | 4,52 | 8,2 | |
| 2х3,0х3,0 | | | 5,0 | 9,8 | 14,5 | 23,2 | 2,1÷3,0 | 1,20÷1,7 | 4,52 | 8,2 |
| 4,0х3,0 | до 46,0 | 3,5 | 7,0÷10,0 | 12,0 | 15,9÷17,0 | 2,0÷2,5 | 1,45÷1,85 | 4,58 | 8,3 | |
| 2х4,0х3,0 | | 5,0 | 9,8÷14,0 | 16,5 | 26,8÷29,2 | 2,6÷3,2 | 1,45÷1,85 | 4,58 | 8,3 | |
| 5,0х3,0 | до 57,5 | | 10,0 | 13,0 | 20,2 | 2,2÷2,5 | 1,55÷1,85 | 4,66 | 8,4 | |
| 2х5,0х3,0 | | | 14,0 | 18,5 | 35,5 | 2,8÷3,2 | 1,55÷1,85 | 4,66 | 8,4 | |
| 6,0х3,0 | до 69,0 | | 10,0 | 14,0 | 22,0 | 2,4÷2,8 | 1,75÷2,0 | 4,73 | 8,5 | |
| 2х6,0х3,0 | | | 14,0 | 20,5 | 39,4 | 3,0÷3,6 | 1,75÷2,0 | 4,73 | 8,5 | |

Матеріал укріплення – монолітний бетон, бетонні плити (товщиною 12 см на шарі щебеню 10 см), бруківка висотою 16 см на цементному розчині 2 см і щебені 10 см. Висоту укріплення укосів насипів біля вхідного оголовка приймають рівною $h+0,25$ м, але не менше ніж $h+0,25$ м. Біля вихідного оголовка насип укріплюють на висоту $h+0,25$ м. При косого рості $i \geq 30\%$ і ґрунтах з малою допустимою швидкістю розмиву $v_{дон} \leq 1$ м/с при глибині потоку 1 м влаштовують бистроток.

ДОДАТОК

Районування території України за ґрунтово-геологічними умовами



Типовий ґрунт у дорожніх районах

| Шифр дорожнього району | Типовий ґрунт в дорожньому районі |
|------------------------|-----------------------------------|
| П.Р.1 | Супісок, пісок |
| П.Р.2 | Суглинок |
| П.Р.3 | Суглинок |
| П.Р.4 | Суглинок |
| П.Р.5 | Суглинок |
| П.Р.6 | Важкий суглинок, глина |
| П.Р.7 | Суглинок |
| П.Р.8 | Важкий суглинок |
| ІV.Р.9 | Важкий суглинок, глина |
| ІV.Р.10 | Важкий суглинок, глина |
| ІV.Р.11 | Важкий суглинок |
| ІV.Р.12 | Важкий суглинок |
| ІV.Р.13 | Важкий суглинок, глина |
| ІV.Р.14 | Важкий суглинок |
| ІV.Р.15 | Суглинок |
| ІV.Р.16 | Суглинок |